

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 02-190902

(43)Date of publication of application : 26.07.1990

---

(51)Int.Cl. G05B 13/00

---

(21)Application number : 01-009682

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 20.01.1989

(72)Inventor : IINO MINORU  
SHIGEMASA TAKASHI

---

**(54) DESIGN METHOD AND DESIGN SUPPORTING DEVICE FOR CONTROL SYSTEM****(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To easily, rapidly and surely design a control system by finding out the model of a required transmission function from the dynamic characteristic information of various formats of a controlled object and using a required control constant determining method.

**CONSTITUTION:** The frequency response curve of the controlled object is formed from the dynamic characteristic information of the controlled object inputted with a proper format and an optional model is selected from the model of a previously prepared low-order transmission function. An approximate curve to be the frequency response curve of the selected model is approached/separated to/from the formed frequency response curve and fixed on a required position and the parameter of the model is determined from the position. A control constant is determined based upon the transmission function of the model by using a method optionally selected from the previously prepared control constant determining methods. Consequently, the control system can be easily, rapidly and surely designed and the control system with stable characteristics can be obtained for the controlled object having various characteristics.

---

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

特願 2002-192815 2/2

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-190902

⑬ Int. Cl.<sup>8</sup>

識別記号

片内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)7月26日

G 05 B 13/00

Z

8527-5H

審査請求 未請求 請求項の数 6 (全14頁)

⑮ 発明の名称 制御系の設計方法及び設計支援装置

⑯ 特 願 平1-9682

⑰ 出 願 平1(1989)1月20日

⑱ 発 明 者 飯 野 穰 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会社東芝総合研究  
所内  
⑲ 発 明 者 重 政 隆 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 株式会社東芝総合研究  
所内  
⑳ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地  
㉑ 代 理 人 弁 理 士 三 好 秀 和 外1名

明 細 書

1. 発明の名称

制御系の設計方法及び設計支援装置

2. 特許請求の範囲

(1) 制御対象の連続時間伝達関数、パルス伝達関数、周波数応答データ、入出力信号など適宜形態で入力された動特性情報に基づいて前記制御対象の周波数応答曲線を作成する工程と、

周波数応答曲線を低次の伝達関数で表現するため予め準備された複数の伝達関数のモデルの中から任意のモデルを選択する工程と、

選択されたモデルの周波数応答曲線としての近似用曲線を作成された制御対象の周波数応答曲線に対して接近・離反させ任意の位置で固定する工程と、

固定した近似用曲線の位置よりモデルの伝達関数のパラメータを決定する工程と、

該工程でパラメータを決定されたモデルの伝達関数に基づき制御定数を決定するため予め準備され

た複数の制御定数決定方式から任意の方式を選択する工程と、

該工程で選択した制御定数決定方式によりモデルの伝達関数から制御定数を決定する工程を備えたことを特徴とする制御系の設計方法。

(2) 請求項1に記載の制御系の設計方法において、第2工程で予め準備される連続時間伝達関数のモデルは、Sをラプラス演算子、Kをゲイン、Lをむだ時間、Tを時定数、F、 $\omega$ を2次系に関するパラメータとして、次の3式 $G_1(S)$ 、 $G_2(S)$ 、 $G_3(S)$ で示されるものであることを特徴とする制御系の設計方法。

$$G_1(S) = (K/L) e^{-LS}$$

$$G_2(S) = (K/(1+TS)) e^{-LS}$$

$$G_3(S) =$$

$$(K/(1+2FS/\omega+S^2/\omega^2)) e^{-LS}$$

(3) 請求項(1)に記載の制御系の設計方法において、前記制御定数の決定方式は、ジグラ・ニコルス法及びCHR法並びに部分的モデルマッチング法であり、これら方式のうちいずれかの方式を用い

てPID制御系或いは非干渉PID制御系の制御定数を算出することを特徴とする制御系の設計方法。

(4) 請求項(1)に記載の制御系の設計方法において、周波数応答曲線を近似するための近似用曲線は、周波数軸に対し水平な直線と、これに対し垂直な直線と、 $-20\text{dB}$ 又は $-40\text{dB}$ の傾きの直線を組み合わせて表現されることを特徴とする制御系の設計方法。

(5) 制御対象の連続時間伝達関数、パルス伝達関数、周波数応答データ、入出力信号など適宜形態で入力された動特性情報に基いて前記制御対象の周波数応答曲線を作成する周波数応答曲線作成手段と、

周波数応答曲線を低次の伝達関数で表現するため予め準備された複数の伝達関数のモデルの中から任意のモデルを選択するモデル選択手段と、

選択されたモデルの周波数応答曲線としての近似用曲線を前記周波数応答曲線作成手段で作成された制御対象の周波数応答曲線に対して接近・離

反させ任意の位置で固定する近似用曲線移動手段と、

固定した近似用曲線の位置より前記モデル選択手段で選択されたモデルの伝達関数のパラメータを決定するパラメータ決定手段と、

該手段でパラメータを決定されたモデルの伝達関数に基き制御定数を決定するため予め準備された複数の制御定数決定方式から任意の方式を選択する制御定数決定方式選択手段と、

該手段で選択した制御定数決定方式により前記パラメータ決定手段でパラメータ決定された伝達関数に基き制御定数を決定する制御定数決定手段を備えたことを特徴とする制御系の設計支援装置。

(6) 請求項(5)に記載の制御系の設計支援装置において、前記近似用曲線移動手段は、前記周波数応答曲線作成手段で作成された制御対象の周波数応答曲線及び前記モデル選択手段で選択されたモデルの周波数応答曲線に対応する近似用曲線を表示画面上に表示し、表示された近似用曲線をマウス操作で前記制御対象の周波数応答曲線に対して接

近・離反させるCAD装置で構成されることを特徴とする制御系の設計支援装置。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 〔発明の目的〕

##### (産業上の利用分野)

本発明は、工業プラント、メカニカルシステム等の制御系の制御定数の決定、調整を行う制御系の設計方法及び設計支援装置に関する。

##### (従来の技術)

各種の工業プラントやマネビュレータ等のメカニカルシステムに用いられている制御系においては、制御対象に望ましい応答をさせるために適切な制御定数を設定しなければならない。

従来より、この制御定数の調整を含めた制御系設計作業を支援するために、各種の制御系設計手法を計算機上で容易に使用できる様にした計算機支援システムが開発されている。

ここに、これらシステムを用いて制御系の設計を行うには、まず制御対象の動特性を表わす数式モデルすなわち伝達関数が必要になるが、この伝

達関数を得る方法としては、制御対象の物理的構造から動特性を微分方程式で表現した上で、それを線形近似して求める方法や、制御対象にテスト信号を入力しそのときの応答信号と入力信号から最小2乗法を用いて時系列モデルすなわち、パルス伝達関数を求める方法や、制御対象に正弦波信号を入力し、出力の基本波成分との振幅比および位相差から制御対象の周波数応答曲線を求める方法などが知られている(たとえば計測自動制御学会学術図書「システム同定」秋月、片山、相良、中消著)。

一方、制御系設計法、特に制御定数決定法としては、

①ジエグラ・ニコルス法(J. G. Ziegler & N. B. Nichols: Optimum Settings for Automatic Controllers, Trans. ASME, Vol. 64, p. p. 759~768 (1942))

②CHR法(Kun Li Chien, J. A. Hrones & J. B. Reswick: On the

Automatic Control of Generalized Passive Systems, Trans. A S M E, Vol. 74, p. p. 175~185 (1952))

③部分的モデルマッチング(北森:制御対象の部分的知識に基づく制御系の設計法、計測自動制御学会論文集第15巻第4号p549~555, (1979))などがある。

特に、部分的モデルマッチング法は、産業界に広く用いられているPID制御系の制御定数を決定する手法としては、ジークラ・ニコルス法、CHR法に並んで有効な手法である上、多入出力プロセスに対する非干渉PIDコントローラの設計(北森:制御対象の部分的知識に基づくI-PD方式非干渉制御系の設計法、計測自動制御学会論文集第16巻第1号p. p. 112~117 (1980))やサンプル値制御系の設計(北森:制御対象の部分的知識に基づくサンプル値制御系の設計法、計測自動制御学会論文集第15巻第5号p. p. 695~700 (1979))などに容易に適用できるという利点がある。

一方、伝達関数を前述の各手法で求める場合、必ずしもこれらの制御系設計手法に都合のよい形の伝達関数が得られるとは限らない。たとえば、物理的構造に基づいて求めた伝達関数は一般に次数が高くなってしまふ。最小2乗法によって推定した時系列モデル、すなわちパルス伝達関数はそのままでは設計法を適用することができない。制御対象の周波数応答曲線を測定した場合も同じくそのままでは適用できない。

結局、このような各種の動特性モデルに対し、上記の制御系設計法を適用するためには、それぞれのモデルを連続時間の伝達関数へ変換し、さらに、上記(1)、(2)式の様な簡単な構造へ変換、すなわち低次元化する手段が必要となる。

ここに、低次元化の手法としては、各種のものが提案されている(たとえば計測自動制御学会編、自動制御ハンドブック(基礎編)p85~89)が、上述の制御系設計手法に用いるには、いずれの方法が有効であるかも十分に明らかになっていないのが実情である。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、これら従来よりの制御系設計法を実際の制御系に適用する際には、制御対象の連続時間動特性モデルすなわち伝達関数が必要になる。しかも、設計法によってその伝達関数の形が限定されるという問題点がある。たとえば、ジークラ・ニコルス法では、伝達関数は

$$G(S) = (K/S) e^{-LS} \quad \dots(1)$$

という形である必要があり、CHR法では

$$G(S) = (K/(1+TS)) e^{-LS} \quad \dots(2)$$

という形である必要がある。また、部分的モデルマッチング法は、任意の形の伝達関数

$$G(S) = B(S)/A(S)$$

$$A(S) = a_0 + a_1 S + a_2 S^2 + \dots + a_n S^n$$

$$B(S) = b_0 + b_1 S + \dots + b_m S^m \quad \dots(3)$$

に対して適用することができるが、伝達関数が、オーバーシュート系など、零点を持つ場合や、振動系など複素極を持つ場合は、そのまま適用すると得られた制御定数による制御系が不安定になる場合がある。

そこで、本発明は、制御対象の各種形態の動特性の情報から、所望の伝達関数のモデルを求め、所望の方式の制御定数決定方式を用いて容易、迅速、確実に制御系を設計できる制御系の設計方法及び設計支援装置を提供することを目的とする。

[発明の構成]

(課題を解決するための手段)

上記課題を解決する本発明の制御系の設計方法は、その概要を第1図に示すように、制御対象の連続時間伝達関数、パルス伝達関数、周波数応答データ、入出力信号など適宜形態で入力された動特性情報に基づいて前記制御対象の周波数応答曲線を作成する工程S1と、

周波数応答曲線を低次の伝達関数で表現するため予め準備された複数の伝達関数のモデルの中から任意のモデルを選択する工程S2と、

選択されたモデルの周波数応答曲線としての近似用曲線を作成された制御対象の周波数応答曲線に対して接近・離反させ任意の位置で固定する工程S3と、

固定した近似用曲線の位置より選択されたモデルの伝達関数のパラメータを決定する工程S4と、

該工程でパラメータを決定されたモデルの伝達関数に基き制御定数を決定するため予め準備された複数の制御定数決定方式から任意の方式を選択する工程S5と、

該工程S5で選択した制御定数決定方式によりパラメータ決定されたモデルの伝達関数に基き制御定数を決定する工程S6を備えたことを特徴とする。

又、本発明の制御系の設計支援装置は、第1図の各工程を実行手段に置き換えた形で、制御対象の連続時間伝達関数、パルス伝達関数、周波数応答データ、入出力信号など適宜形態で入力された動特性情報に基いて前記制御対象の周波数応答曲線を作成する周波数応答曲線作成手段と、

周波数応答曲線を低次の伝達関数で表現するため予め準備された複数の伝達関数のモデルの中から任意のモデルを選択するモデル選択手段と、

選択されたモデルの周波数応答曲線としての近

似用曲線を前記周波数応答曲線作成手段で作成された制御対象の周波数応答曲線に対して接近・離反させ任意の位置で固定する近似用曲線移動手段と、

固定した近似用曲線の位置より前記モデル選択手段で選択されたモデルの伝達関数のパラメータを決定するパラメータ決定手段と、

該手段でパラメータを決定されたモデルの伝達関数に基き制御定数を決定するため予め準備された複数の制御定数決定方式から任意の方式を選択する制御定数決定方式選択手段と、

該手段で選択した制御定数決定方式により前記パラメータ決定手段でパラメータ決定された伝達関数に基き制御定数を決定する制御定数決定手段を備えたことを特徴とする。

#### (作用)

本発明の制御系の設計方法では、適宜形態で入力された制御対象の動特性情報から該制御対象の周波数応答曲線が作成され、予め準備された低次伝達関数のモデルから任意のモデルが選択され、

選択されたモデルの周波数応答曲線としての近似用曲線を作成された周波数応答曲線に接近・離反させて所望の位置で固定し、その位置からモデルのパラメータを決定する。

又、次いで、予め準備された制御定数決定方式の中から任意の決定方式が選択され、選択された方式を用いてモデルの伝達関数に基いて制御定数が決定される。

モデルの伝達関数として、Kをゲイン、Tを時定数、 $f\omega$ を振動特性のパラメータ、Lをむだ時間として、例えば、

$$G_1(S) = (K/L) e^{-Ls} \quad \dots(4)$$

$$G_2(S) = (K/(1+Ts)) e^{-Ls} \quad \dots(5)$$

$$G_3(S) = (\omega^2 K / (\omega^2 + 2f\omega S + S^2)) e^{-Ls} \quad \dots(6)$$

を用意しておき、又、制御定数決定方式として、ジグラ・ニコルス法、CHR法、部分的モデルマッチング法を用意しておき、工程S3でモデルの近似用曲線を工程1で作成された制御対象の周

波数応答曲線に対して任意の位置で固定することにより、K、T、L、 $f$ 、 $\omega$ などパラメータ及び比例ゲインK、積分時間TI、微分時間TDなど制御定数を容易、迅速に決定することができる。

又、第2図に示すように、制御系に第1に要求される安定性を確保するためには、制御偏差から制御量までの一巡伝達関数の周波数応答曲線において周波数 $\omega_p$ から $\omega_g$ あたりの中間周波数の特性で決定される安定余裕(ゲイン余裕、位相余裕)を持たせる必要がある。従ってこれに対応する、制御対象の中間周波数の特性を正確に表現する伝達関数を制御系設計に用いることが安定な制御系を設計する上で重要なポイントとなる。本発明では、制御対象の周波数応答曲線に対し、正確に合わせたい中間周波数帯域の特性に近似用直線を含わせるので、特異な周波数特性を持ち、従来、設計の困難だった制御対象に対しても十分安定なPID制御系や非干渉PID制御系等を容易に設計することができる。

#### (実施例)

第3図を参照するに、本発明を実施する制御系の設計支援装置は、制御対象1より各種形態の動特性情報を測定器より直接又は間接的に入力する動特性情報入力部2と、入力された動特性情報からCAD3の操作を与えて低次元連続時間伝達関数を求める伝達関数変換部4と、得られた低次元連続時間伝達関数に基づき選択された制御定数選択方式を用いて制御定数を決定する制御定数決定部5を備えて構成されている。

前記動特性情報入力部2は、各種形態の動特性情報をそれぞれ入力するため、伝達関数入力部6と、パルス伝達関数入力部7と、周波数応答データ入力部8と、入出力データを入力し、パルス伝達関数を推定するパルス伝達関数推定部9を備えている。

前記伝達関数入力部6は、次式で示す連続時間伝達関数 $G(S)$ を入力するためのものである。

$$\begin{aligned} G(S) &= (B(S) / A(S)) e^{-LS} \\ A(S) &= a_0 + a_1 S + \dots + a_n S^n \\ B(S) &= b_0 + b_1 S + \dots + b_m S^m \quad \dots(7) \end{aligned}$$

達関数 $G(Z^{-1})$ を求めるものである。

さらに、前記動特性情報入力部2には、入力されたパルス伝達関数 $G(Z^{-1})$ を $Z-S$ 変換法(英多、海津：多人出力離散時間系から、連続時間系への逆変換問題、電気学会論文集C 104巻11号p. p. 273~280(1984)参照)により(7)式に示す連続時間伝達関数 $G(S)$ へ変換する伝達関数推定部10と、この推定部10にパルス伝達関数入力部7又はパルス伝達関数推定部9の出力を切換え入力すると共に両出力を伝達関数変換部4に直接出力するスイッチSW1と、伝達関数推定部10の出力又は伝達関数入力部6の出力のうちいずれかの出力を伝達関数変換部4に対して出力するスイッチSW2が備えられている。

したがって、動特性情報入力部2に入力された各種形態の動特性情報は、周波数応答データ $(g_i, \varphi_i, \omega_i)$ 、又は連続時間伝達関数 $G(S)$ 、又はパルス伝達関数 $G(Z^{-1})$ の形で伝達関数変換部4に出力されることになる。

前記、パルス伝達関数入力部7は、次式で示すパルス伝達関数 $G(Z^{-1})$ を入力するためのものである。

$$\begin{aligned} G(Z^{-1}) &= Q(Z^{-1}) / P(Z^{-1}) \\ P(Z^{-1}) &= p_0 + p_1 Z^{-1} + \dots + p_n Z^{-n} \\ Q(Z^{-1}) &= q_0 + q_1 Z^{-1} + \dots + q_n Z^{-n} \quad \dots(8) \end{aligned}$$

前記周波数応答データ入力部8は、 $g_i$ をゲイン、 $\varphi_i$ を位相、 $\omega_i$ を周波数として、制御対象1の周波数応答曲線に関する次式で示すデータ列を入力するためのものである。

$$\{(g_1, \varphi_1, \omega_1), (g_2, \varphi_2, \omega_2), \dots, (g_N, \varphi_N, \omega_N)\}$$

前記伝達関数推定部9は、 $u_i$ を入力信号、 $y_i$ を出力信号として、制御対象1の入出力信号なりを次式の形で入力し、

$$\{(u_0, y_0), (u_1, y_1), \dots, (u_N, y_N)\}$$

最小2乗法(計測自動制御学会学術図書「システム同定」を参照)により前述(8)式に示すパルス伝

前記伝達関数変換部4は、入力された動特性モデルが連続時間伝達関数 $G(S)$ 又はパルス伝達関数である場合、次式(9)~(12)により制御対象1の周波数応答曲線を求める周波数応答曲線推定部11を備えている。

$$G(j\omega) = G(S) \mid s = j\omega \quad \text{(連続時間伝達関数の場合)} \quad \dots(9)$$

$$G(j\omega) = G(Z^{-1}) \mid z = e^{j\omega\tau} \quad \text{(離散時間伝達関数の場合)} \quad \dots(10)$$

(ただし、 $\omega$ は角周波数、 $j$ は虚数単位、 $\tau$ はサンプリング周期)

$$\text{ゲイン特性} \mid G(j\omega) \mid =$$

$$\sqrt{X(\omega)^2 + Y(\omega)^2} \quad \dots(11)$$

$$\text{位相特性} \angle G(j\omega) =$$

$$\tan^{-1} (Y(\omega) / X(\omega)) \quad \dots(12)$$

$$X(\omega) = \operatorname{Re} \{G(j\omega)\},$$

$$Y(\omega) = \operatorname{Im} \{G(j\omega)\}$$

又、伝達関数変換部4は、前記周波数応答曲線推定部11の出力又は前記周波数応答データ入力

部8より出力された周波数応答データを切換え入力するスイッチSW3と、このスイッチSW3の出力を入力する周波数応答曲線表示制御部12と、該制御部12と接続される伝達関数モデル記憶部13及び伝達関数パラメータ決定部14と、伝達関数モデルを選択するスイッチ4を備えている。

伝達関数モデル記憶部13は、前述(4)、(5)、(6)式に示す伝達関数の周波数応答曲線を代表する近似用曲線(本例では直線)を記憶するものである。

周波数応答曲線表示制御部12は、スイッチSW3を介して入力される周波数応答曲線又は周波数応答データに基づいてCAD3のCRT15の画面に周波数応答曲線を表示すると共に、スイッチSW4により伝達関数モデル記憶部13より選択されたモデルの近似用曲線を同時にCRT15に表示するものである。

伝達関数パラメータ決定部14は、CRTに表示されたモデルの近似用曲線を、後述するようにCAD3のキーボード16及びマウス17の操作に基づいて位置決めし、位置決めされた近似用曲線

法により連続時間伝達関数へ変換することもできる。この様にして、パルス伝達関数 $G(Z^{-1})$ 、連続時間伝達関数 $G(S)$ 、周波数応答曲線データ $\{(g_i, \varphi_i, \omega_i)\} (i=1, 2, \dots, N)$ のいずれかが、伝達関数変換部4へ送られる。

次に、伝達関数変換部4では、パルス伝達関数 $G(Z^{-1})$ 、又は連続時間伝達関数 $G(S)$ を、(9)~(12)式により、周波数応答関数 $G(j\omega)$ ( $\omega$ は角周波数)に変換し、周波数応答曲線として、第4図の様にCRT15の画面上に表示する。一方、操作員は、(4)~(6)式に示すタイプI、タイプII、タイプIIIのうち、いずれの低次元伝達関数のモデルにするかをスイッチSW4で選択する。タイプIを選択した場合、第5図に示す様に、周波数応答曲線に加えて、モデルのゲイン特性に相当する $-20\text{ dB/d ec}$ の傾きの直線aが表示される。この直線aは、マウス17の操作で、上下に動かすことができる。そこで、まず、この直線aをゲイン特性曲線に適当な位置で合わせて、マウスのクリックボタンを押すと、そのときのあ

の位置に基づいて伝達関数のパラメータを決定するものである。

CAD3の操作方式については第3図以下で詳述する。

前記制御定数決定部5は、前記位置関数パラメータ決定部14より入力された伝達関数をスイッチSW5を介してジグ・ニコルス法、又はCHR法、又は部分的モデルマッチング法の演算部17、18、19に入力し、各法の演算部17、18、19にて制御定数(KP, KI, TD)を決定するものである。

次に、以上の構成の制御系の設計支援装置につき具体的な操作例を挙げ、その作用を説明する。

まず、動特性情報入力部2に制御対象1の入出力応答データ、周波数応答曲線データ、パルス伝達関数、連続時間伝達関数のいずれかが入力される。入出力応答データの場合は、パルス伝達関数推定部9で、最小2乗法により時系列モデルすなわちパルス伝達関数を推定する。推定されたパルス伝達関数は伝達関数推定部10で、Z-S変換

る周波数 $\omega_0$ でのゲイン $|G(j\omega_0)| [\text{dB}]$ が読み取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて、(4)式のパラメータKが

$$K = \omega_0 \cdot 10^{(10 \cdot |G(j\omega_0)|)/20}$$

... (13)

により決定される。

次に、第6図に示す様に、モデルの周波数特性に相当するある周波数 $\omega_0$ を示す縦の直線bが表示される。直線bはマウス17の操作により左右に動かすことができる。そこで、次に、この直線bを位相特性曲線のうち特に合わせたい周波数に移動させマウス17のクリックボタンを押すとそのときの周波数 $\omega_0$ と、位相 $\angle G(j\omega_0) [\text{rad/sec}]$ が読みとられ、伝達関数パラメータ決定部14にて、(4)式のパラメータLが

$$L = ((-\angle G(j\omega_0)) - (\pi/2)) / (\omega_0)$$

... (14)

(ただし、 $L < 0$ なら $L = 0$ とする。)

により決定される。

このように、本例では、制御対象の周波数応答

曲線のうちゲイン特性曲線を数本の直線または曲線で近似し、その直線または曲線の位置から制御対象のゲイン特性のみを近似する最小位相系の伝達関数を算出し、その伝達関数にもとづき算出された位相特性曲線と、制御対象の位相特性曲線の差から非最小位相成分として、むだ時間要素  $e^{-Ls}$  またはオールパスフィルタ要素

$$\left( \prod_{i=1}^n (1 - a_i S) \right)$$

$$/ \left( \prod_{i=1}^n (1 + a_i S) \right)$$

を算出し、

最小位相系の伝達関数と非最小位相成分とを合わせた伝達関数にもとづいて制御定数を算出する。

タイプⅡを選択した場合、第7図に示す様に、周波数応答曲線に加えて水平な直線Cが表示される。直線Cはマウス操作で、上下に動かすことができる。そこでこの直線Cをゲイン特性曲線に適切な位置で合わせてマウス17のクリックボタンを押すと、そのときのゲイン  $G_0$  [dB] が読み

取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて(5)式のパラメータKが

$$L =$$

$$(-\angle G(j\omega_c) - \tan^{-1}(T\omega_c)) / (\omega_c) \quad \dots (17)$$

(ただし、 $L < 0$  なら  $L = 0$  とする)

により決定される。

タイプⅢを選択した場合、第10図に示す様に、周波数応答曲線に加えて水平な直線fが表示される。直線fはマウス17の操作で上下に動かすことができる。そこで、この直線fをゲイン特性曲線に適切な位置で合わせてマウス17のクリックボタンを押すと、そのときのゲイン  $G_0$  [dB] が読み取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて(6)式のパラメータKが

$$K = 10^{G_0/20} \quad \dots (18)$$

により決定される。

次に第11図に示す様に、周波数応答曲線に加

取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて(5)式のパラメータKが

$$K = 10^{G_0/20} \quad \dots (15)$$

により決定される。

次に、第8図に示す様に、周波数応答曲線に加えて、 $-20 \text{ dB/dec}$  の傾きの直線dが表示される。直線dはマウス17の操作で上下に動かすことができる。そこで、次にこの直線dをゲイン特性曲線に適切な位置で合わせてマウス17のクリックボタンを押すと、そのときの直線Cとの交点周波数  $\omega_c$  [rad/sec] が読み取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて(5)式のパラメータTが

$$T = 1/\omega_c \quad \dots (16)$$

により決定される。これら直線c及びdはモデルのゲイン特性を示すものである。

又次に、第9図に示す様に、ある周波数  $\omega_c$  を示す縦の直線eが表示される。直線eはマウス操作により左右に動かすことができる。そこで、この縦の直線eを位相特性曲線のうち特に合わせた

え、 $-40 \text{ dB/dec}$  の傾きの直線gが表示される。直線gはマウス17の操作で上下に動かすことができる。そこでこの直線gをゲイン特性曲線に適切な位置で合わせてマウス17のクリックボタンを押すと、そのときの直線fとの交点周波数  $\omega_c$  [rad/sec] と、そのときのゲイン  $|G(j\omega_c)|$  が読み取られ、伝達関数パラメータ決定部14にて(6)式のパラメータF、 $\omega_c$  が

$$\omega_c = \omega_c \quad \dots (19)$$

$$F = K / (2 |G(j\omega_c)|) \quad \dots (20)$$

により決定される。

次に第12図に示す様に、ある周波数  $\omega_c$  を示す縦の直線hが表示される。直線hは、マウス17の操作により左右に動かすことができる。そこで、この直線hを位相特性曲線のうち特に合わせたい周波数に移動させ、マウス17のクリックボタンを押すと、そのときの周波数  $\omega_c$  と位相  $\angle G(j\omega_c)$  [rad/sec] が読みとられ、伝達関数パラメータ決定部14にて(6)式のパラメータLが

$L =$

$$\{(-\angle G(j\omega_p) - \tan^{-1} [2f(\omega_p/\omega) / (1 - (\omega_p/\omega)^2)])\} / (\omega_p)$$

(ただし、 $L < 0$  なら  $L = 0$  とする) ... (21)

により決定される。

以上の手順によって、伝達関数変換部4で、(4)~(6)式に示すタイプI、タイプII、タイプIIIのいずれかの形の低次元伝達関数が決定される。また、一度決定された伝達関数の周波数応答曲線がもとの周波数応答曲線と合わせてCRT15の画面に表示され、操作員はその近似度を評価しながら、所望の低次元伝達関数が得られるまで、伝達関数変換部14の作業を繰り返すことができる。

次に、制御定数決定部5では、伝達関数変換部4で得られた(4)~(6)式のいずれかの低次元伝達関数を用いて、以下のいずれかの制御系設計手法で、PID制御系の制御定数(比例ゲイン $K_P$ 、積分時間 $T_I$ 、微分時間 $T_D$ )を算出する。

ジークラ・ニコルス法が選択された場合には、タイプI又はタイプIIの低次元伝達関数のパラメ

$$\begin{aligned} g_0 &= 0 \\ g_1 &= 1/K \\ g_2 &= L/K \\ g_3 &= L^2 / (2K) \end{aligned} \quad \dots (25)$$

タイプIIでは、

$$\begin{aligned} g_0 &= 1/K \\ g_1 &= (L + T) / K \\ g_2 &= (L^2 / 2 + TL) / K \\ g_3 &= (L^3 / 6 + TL^2 / 2) / K \end{aligned} \quad \dots (26)$$

タイプIIIでは、

$$\begin{aligned} g_0 &= 1/K \\ g_1 &= (L + 2T/\omega) / K \\ g_2 &= (L^2 / 2 + TL) / K \\ g_3 &= (L^3 / 6 + TL^2 / 2) / K \end{aligned} \quad \dots (27)$$

の様に变换する。このとき、

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0.5 \\ \alpha_3 &= 0.15 \\ \alpha_4 &= 0.03 \end{aligned} \quad \dots (28)$$

として

$$\sigma = (g_3 \alpha_3) / (g_2 \alpha_4)$$

ータから、制御定数を

$$\begin{aligned} K_P &\begin{cases} = 1.2 / KL & (\text{タイプIの場合}) \\ = 1.2 T / KL & (\text{タイプIIの場合}) \end{cases} \\ T_I &= 2L \\ T_D &= 0.5L \end{aligned} \quad \dots (22)$$

により決定する。

CHR法が選択された場合には、タイプIIの低次元伝達関数のパラメータから制御定数を

$$\begin{aligned} K_P &= 0.95 T / KL \\ T_I &= 2.4L \\ T_D &= 0.4L \end{aligned} \quad \dots (23)$$

により決定する。

部分的モデルマッチング法が選択された場合には、タイプI、タイプII、タイプIIIの伝達関数を次の形に変換する。

$$\begin{aligned} G(s) &= \\ 1 / (g_0 + g_1 s + g_2 s^2 + \dots) \end{aligned} \quad \dots (24)$$

たとえば、タイプIでは、

$$\begin{aligned} k &= g_2 / (\alpha_3 \sigma^3) \\ f_1 &= k \alpha_2 \sigma^2 - g_1 \\ f_0 &= k \sigma - g_0 \end{aligned} \quad \dots (29)$$

さらに、

$$\begin{aligned} K_P &= f_0 \\ T_I &= f_0 / k \\ T_D &= f_1 / f_0 \end{aligned} \quad \dots (30)$$

により制御定数を決定する。

なお、部分的モデルマッチング法を用いて多変数プロセスに対する非干渉制御系の設計や、デジタル制御系の設計を行う場合は、多入出力プロセスの動特性モデル(たとえばパルス伝達関数行列)の1つ1つの要素に対し、同様の手順で低次元伝達関数モデルを求め、(24)式の形に変換したうえで、それぞれに対応する手法(たとえば森、重政、北森：異なるサンプリング周期を有するサンプル値非干渉制御系の設計法、計測自動制御学会論文集、20巻4号p. p300~306(1984)参照)を用いて制御定数を得ることができる。

以上示した実施例では、低次元伝達関数を推定する伝達関数推定部10及び周波数応答曲線推定部13を設けたので、パルス伝達関数、高次の連続時間伝達関数、周波数応答曲線など、さまざまな形態の制御対象動特性モデルから、特定の形の伝達関数へ変換することができる。

また、ジグラ・ニコルス法、CHR法、部分的モデルマッチング法の制御系設計手法を用いて、さまざまな周波数応答特性をもつ制御対象に対し、PID制御系などの制御系を容易に設計できる。

特に、制御対象の周波数特性曲線を見ながら、任意の周波数帯域に重点をおいて、周波数特性を簡単な直線図形で近似できるので、制御系設計において重要となる制御対象の中間周波数帯域の特性を精度良く近似した低次元伝達関数を得ることができ、安定性に優れた制御系を設計することができる。その結果、これらの制御系設計法の適用できる制御対象の範囲が大幅に広げられる。

又、本例では、特に、CRT15及びマウス17を備えたCAD3を用いてモデルの近似用曲線

3への指令値をそれぞれU1、U2とし、圧力計25及び流量計22の検出値をY1、Y2とする。

ここに、第14図(a)、(b)に示した圧力調節バルブ20および流量調節バルブ23のステップ変化に対する圧力、流量の応答曲線により示されるように、このプロセスでは、検出された流量Y2と圧力Y1との間に強い干渉があることが示されている。

そこで、まず、第13図に示すプロセスにおいて圧力調節バルブ20の開度信号U1と圧力信号Y1のデータを測定し、パルス伝達関数推定部9で最小2乗法によりパルス伝達関数 $G_{11}(Z^{-1})$ を求め、第14図(a)、(b)に示すように周波数応答曲線推定部11で求めた周波数応答曲線と、選択された例えばタイプIIのモデルの周波数応答曲線に相当する近似用曲線を、周波数応答曲線表示部により、CRT15の画面上に表示する。

マウス17の操作により、直線c、d、eの位置を決定し、この結果伝達関数パラメータ決定部14で、タイプIIの伝達関数

a、b、c…を元の周波数応答曲線にフィッティングさせることとしたので、フィッティング作業を視覚的に、かつ容易に行うことができ、正確、迅速に作業を遂行できるという利点ある。

さらに、モデルを第2図に示す任意の中間周波数帯域の所望の位置で合わすので、制御系設計において重要となる制御対象の中間周波数帯域の特性を精度良く近似した低次元伝達関数を得ることができ、安定した制御系を設計することができる。

次に、第13図以下により、具体的な設計例を示す。

第13図は制御対象の一例としての流体プロセスの流量及び圧力制御系の説明図である。

図示のように本例の制御系は、圧力調節バルブ20を介して第1タンク21に流体を送り、第1タンク21の流体を流量計22、流量調節バルブ23を介して第2タンク24へ送るようになっており、第1タンク21には圧力計25が取り付けられている。

前記圧力調節バルブ20及び流量調節バルブ2

$$G_{11}(S) =$$

$$(2.7826) / (1 + 28.91 S) / e^{-1.1383 S} \quad \dots (31)$$

を得る。

第15図(b)は元の周波数応答曲線と得られた伝達関数より求めた $G_{11}(S)$ の周波数応答曲線とを重ねて表示したものである。低周波数から中間周波数帯域までよく一致していることがわかる。又、元のパルス伝達関数 $G_{11}(Z^{-1})$ と伝達関数 $G_{11}(S)$ とのステップ応答を第16図に示す。これも、ほとんど一致しており、得られた低次元伝達関数が元のプロセスの特性を忠実に保存していることがわかる。

(31)式に対しCHR法を用いてPID制御定数を求め、それを用いた圧力制御系の応答(目標値変化時)を第17図に示す。安定かつオーバーシュートも少ない良好な制御性能が得られていることがわかる。

次に、バルブ20、23から、圧力、流量までの特性を上記と同様の手順により2入力2出力シ

システムの伝達関数行列として推定し、部分的モデルマッチング法によりPID制御系を設計し、その圧力および流量の目標値追従応答を第18図(a), (b)に示した。この図より理解されるように、圧力変化時の流量又は流量変化時の圧力は、内部干渉の影響を非干渉PID制御系により抑えたことにより、変動が少なくなっており、いずれも良好な制御性能を達成していることがわかる。

上記実施例では、モデルの低次元伝達関数を示す近似用曲線を直線a, b, c, …の例で示したが、これは曲線であっても同様である。又、直線と円弧などを組み合わせたものであってもよく、要するに、第2図に示す中間周波数帯域で入力された周波数応答曲線を近似できるものであればよい。

さらに、本例では、低次元伝達関数のモデルとして3例を示し、又制御定数の決定方式として3例を示したが、これに限定されるものではなく、各種のモデル及び制御定数認定法を採用できるものである。

さらに、上記実施例では、CAD3を用いてモデルを元の周波数応答曲線に対して移動させる例を示したが、元の曲線へのフィッティング方式を例えば接触させる、誤差に関する評価関数を最小化する等の条件を設定して、この移動を計算機上で実施させ、全自動とすることも可能である。

このように、本発明は趣旨を逸脱しない限りにおいてこの他各種態様で実施し得るものである。

#### [発明の効果]

以上の通り、本発明は、特許請求の範囲に記載の通りの制御系の設計方法及び設計支援装置であるので、制御対象よりの各種形態の動特性情報の入力に対し、所望の伝達関数のモデルを求め、所望の方式の制御定数決定方式を用いて、制御系を容易、迅速、確実に設計でき、さまざまな特性を持つ制御対象に対し安定した特性の制御系を得ることができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の概要を示すフローチャート、第2図はその作用を示す説明図、第3図は、本発

明の一実施例に係る制御系設計支援装置の構成を表わすブロック図。第4図～第12図はCRT端末の画面に表示される周波数応答曲線の説明図、第13図は設計例として用いたプロセスの構成例を示すブロック図、第14図(a), (b)はこのプロセスの流量、圧力の開ループ応答線図、第15図(a), (b)は設計例においてCRT端末の画面に表示された周波数応答曲線の説明図、第16図は得られた低次元伝達関数とよとのパルス伝達関数のステップ応答を比較した説明図、第17図は得られた低次元伝達関数を用いてCHR法で設計したPID制御系による圧力の目標値追従応答線図、第18図(a), (b)は同様にして2入力2出力の伝達関数行列を求め、部分的モデルマッチング法で設計した非干渉PID制御系による圧力および流量の目標値追従応答線図である。

- 1…制御対象
- 2…動特性情報入力部
- 3…CAD
- 4…伝達関数変換部

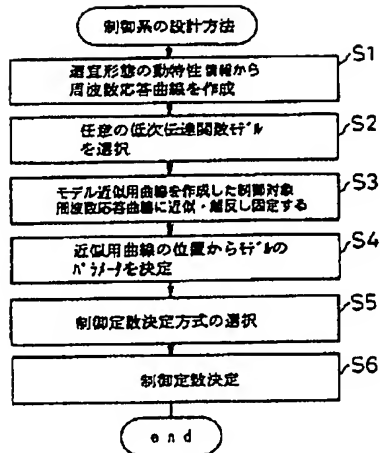
5…制御定数決定部

15…CRT

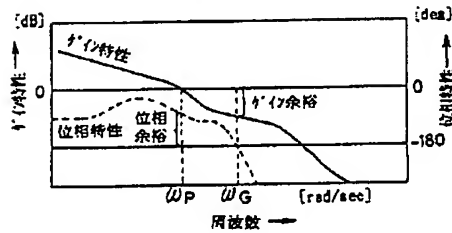
17…マウス

a, b, c, d, e, f, g…近似用直線

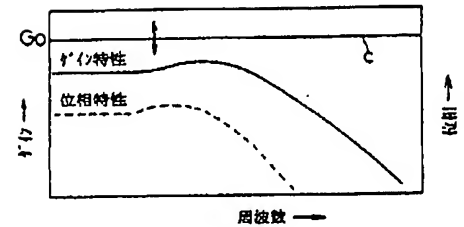
代理人弁護士 三好秀和



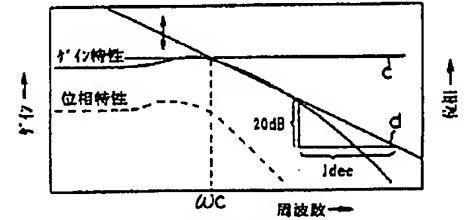
第 1 図



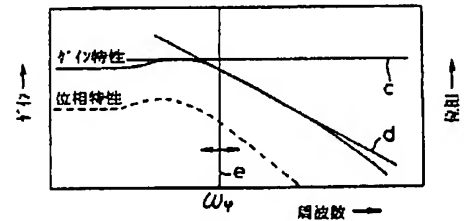
第 2 図



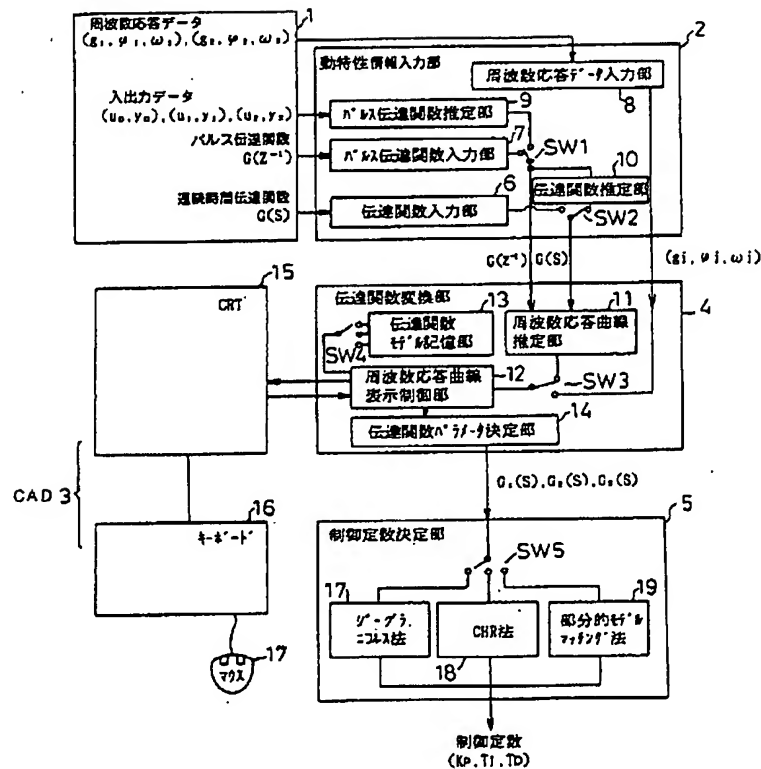
第 7 図



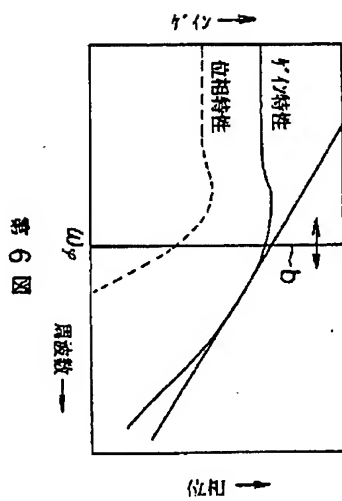
第 8 図



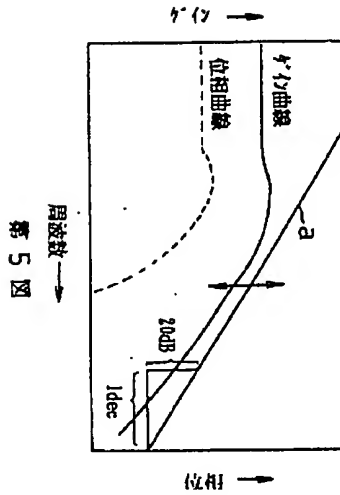
第 9 図



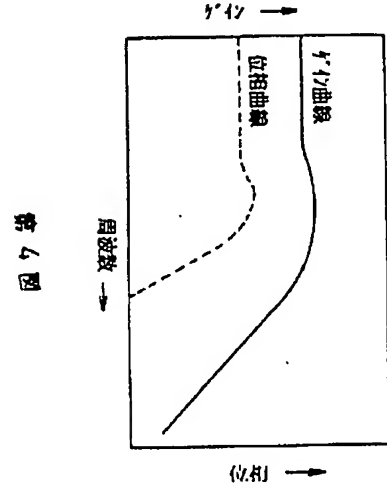
第 3 図



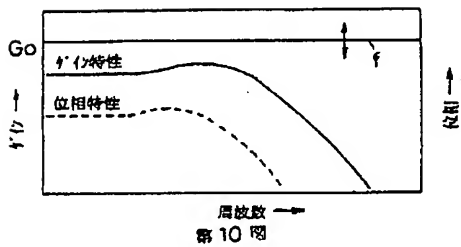
第6図



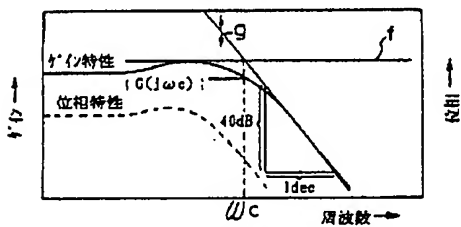
第5図



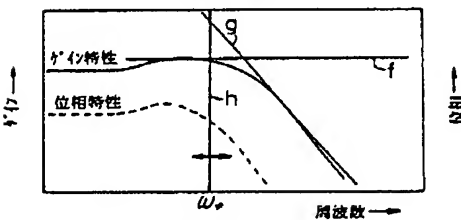
第4図



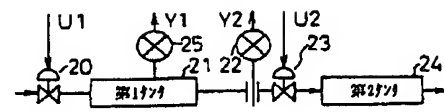
第10図



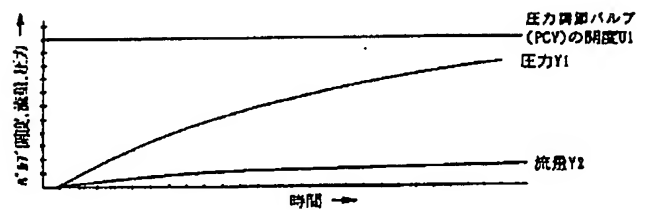
第11図



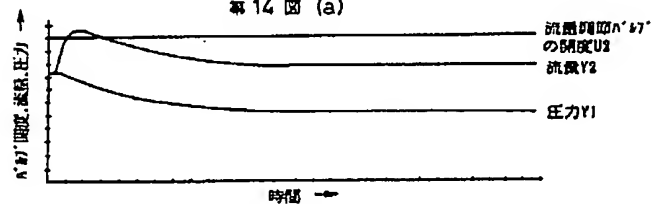
第12図



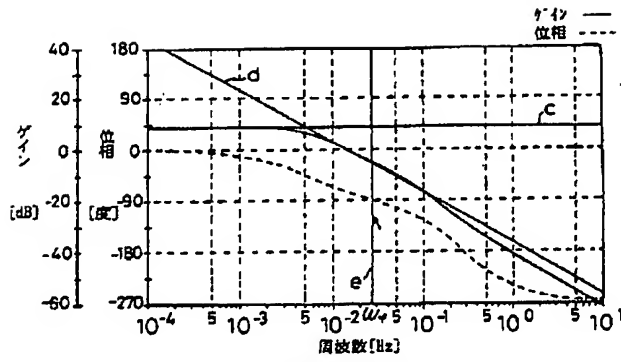
第13図



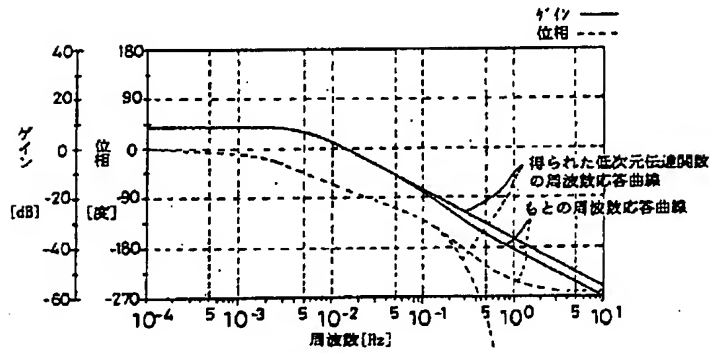
第14図 (a)



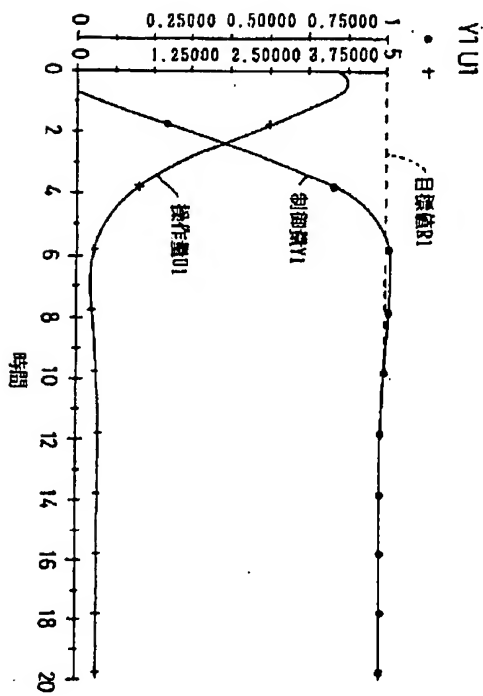
第14図 (b)



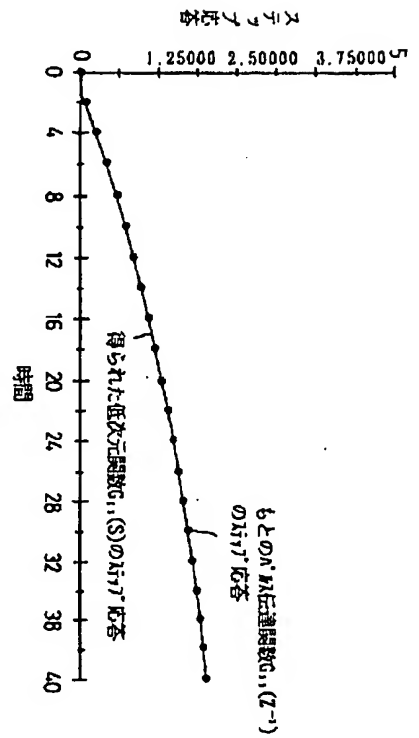
第15図 (a)



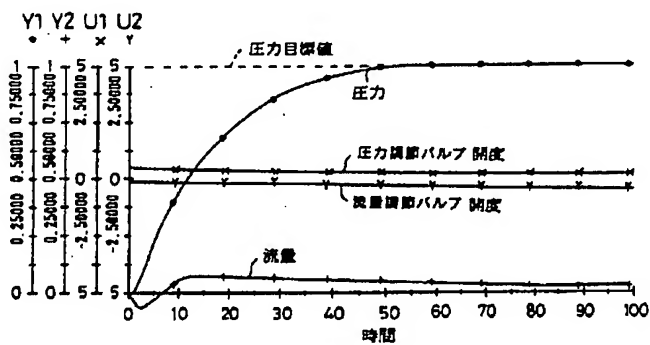
第15図 (b)



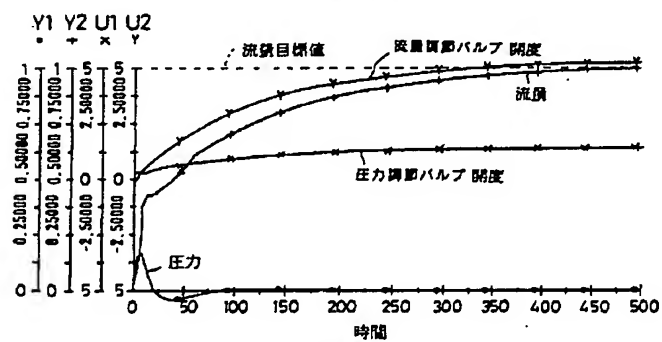
第17図



第16図



第18図 (a)



第18図 (b)